

くり返し引張り曲げ応力を受ける縫糸の疲労

岩崎 錦・田中道一

The Fatigue of Sewing Thread by Tensile and Bending Stress

KIN IWASAKI and MICHIKAZU TANAKA

は じ め に

各種の製品は、その製造工程中や使用中に、引張り、曲げ、圧縮、ねじりなど種々の応力を受けて疲労する。一般的な疲労現象については、従来から研究が進められ、Weibull¹⁾による疲労試験と試験材料の破壊確率にもとづく疲労現象の分析や、川田²⁾らによる金属疲労に関する成書などもみられる。

糸の引張りによる疲労挙動に関してはF. Frank³⁾らの報告がある。また最近では、R. S. Chauhan⁴⁾が単繊維の屈曲疲労について、さらにI. E. Clark⁵⁾らが2軸回転作用による繊維の疲労について研究を行っている。これらは、すべて単一応力による疲労に関するものである。

しかし縫糸は、衣服をはじめ多くの製品を構成する素材として、縫製中あるいは縫製品となって使用されている間に、複合した種々の応力をくり返し受けて疲労することが多い。

このような複合応力が疲労に及ぼす影響を知るため、ここでは、各種の縫糸にくり返し引張り曲げの複合応力を与え、その疲労挙動の測定、解析を行った。すなわち縫糸の複合応力による破壊現象にWeibullの確率論の適用を試み、それぞれの疲労特性を求め、検討を行った。

試 料

用いた試料糸は表1のとおりである。綿縫糸は紡績糸、絹、ポリエステル、ナイロン各縫糸はフィラメント糸である。

実験および解析方法

くり返し引張り曲げ応力を加えるための装置として、

ジョッパー型耐様試験機を用いた。図1にその応力が作用する部分の詳細を示す。

表1 試 料

Sample	Thread count	Twist/in	Twist sense
Cotton	# 30	12.0	z
Cotton	# 60	21.6	z
Silk	# 50	15.0	z
Polyester	# 50	15.0	z
Nylon	# 60	14.5	z

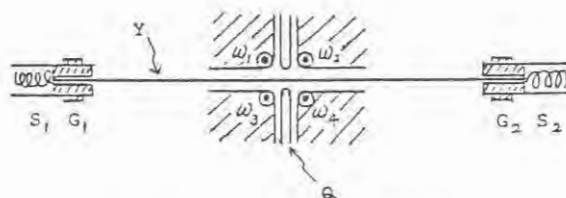


図1 耐様試験機の引張り曲げ作動部分

試料糸(Y)は、弾性バネ(S₁, S₂)に連結されたクランプ(G₁, G₂)にとり付けられ、コーナローラ(W)とクロスプレート(Q)との間でくり返し引張り曲げ応力が与えられる。球形の先端をもつクロスプレートは、クランクの回転により20mmのストロークで水平運動をする。試料糸は、これに直交するクロスプレートの移動による曲げおよび引張り作用を受け、さらにクランプに連結されたバネ(S)の抵抗による引張り荷重(P)をも受ける。

プレートの移動による(バネの伸長が始まる以前の)

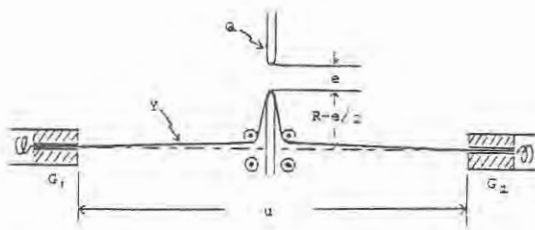


図2 プレートの運動により伸長屈曲された試料系

試料系の最大伸長率 (ϵ) は図2のとおりであり、(1)式より算出できる。

$$\epsilon = \frac{[2\{R - (e - d)/2\} + u - l]}{l} \times 100 (\%) \dots \dots (1)$$

こゝに、 $2R$: クロスプレートのストローク (20.0mm)、 e : クロスプレート間の距離 (3.0mm)、 u : クランプ間の距離 (98.0mm)、 d : 試料系の直径、 l : 糸の試長
ついで、バネの効果が加わる場合のバネの伸びと荷重との関係は、図3に示すとおりである。

このように、くり返し引張り曲げ複合応力を受けた試料糸が切断するまでの時間、または屈曲回数を測定する。各試料について、最大歪み (伸度、 ϵ) を3段階に変化させ、各条件において50本ずつの測定を行なう。

これらにweibull分布の理論の適用を試み、解析を行なう。weibull分布は、(2)式により表わされる。⁶⁾

$$1 - F(x) = e^{-\frac{(t - \tau)^m}{t_0}} \dots \dots \dots (2)$$

両辺の対数を2度とると、

$$\ln \ln \left(\frac{1}{1 - F(x)} \right) = m \ln (t - \tau) - \ln t_0$$

こゝに、 t は試料糸の破壊時間 (糸が切断するまでの屈曲回数)、 $F(x)$ は分布関数で、 t までに疲労破壊する試料糸の割合、 t_0 は寿命 (尺度のパラメータ)、 τ は最少疲労寿命 (位置のパラメータ)、 m はバラツキ (形のパラメータ) である。

したがって、 $\ln t$ 対 $\ln \ln \{100 / (100 - F(x))\}$ をプロットすれば、これより分布のバラツキ m 、寿命 t_0 (特性寿命 η および平均寿命 μ として表わす) が各試料の疲労特性値として求められる。

結果および考察

くり返し複合応力を受けた試料糸が切断するまでの屈曲回数を測定し、得られたヒストグラムは図4のとおりである。図4(a)、(b)は、それぞれ綿糸およびナイロン糸の

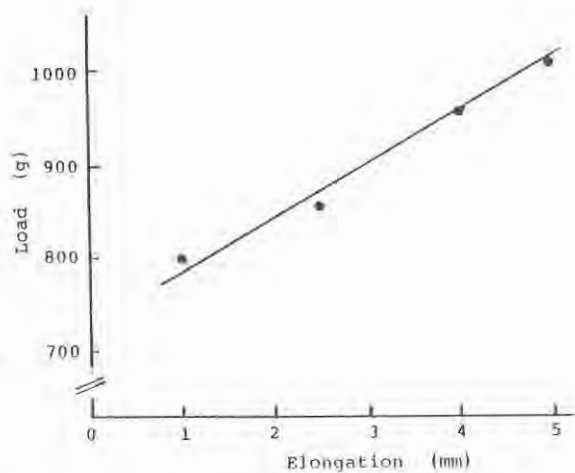


図3 クランプの変位にともなうバネの荷重

例である。試料糸に加えられる伸び (歪) が大であるほど、その形はポアソン分布に近く、伸びが小さくなるにともない分布の範囲が広がる。絹糸およびポリエステル糸にも同様の傾向がみられた。これらは、いずれも正規分布として扱えないことが認められた。

図4のヒストグラムの形は、weibull分布に適合するものと考え、これにもとづいて各試料の疲労特性の解析を行った。すなわちweibull分布を示す(2)式にしたがい、試料の曲げ回数 ($\ln t$) に対する切断した試料の割合 $\ln \ln \{100 / (100 - F(x))\}$ をプロットしたものが、図5 a、b、c、dである。

図5で各測定値はほぼ直線にのることが認められた。ただし、ナイロン糸で加えられる歪 (最大伸長率 ϵ) が小さい場合、直線は曲折して2本の直線が組合わされた形を表した。こゝで初期の直線は傷など欠点による急激な破壊故障を示し、後の直線が他の試料に関する直線と同様に使い切りによる真の摩耗故障を示すものである。この複合型分布⁶⁾の特徴として図4のヒストグラムに2個のピークが現われている。

そこで、各試料の摩耗故障を示す線図より、疲労特性として分布の形 (バラツキ) を表わす m 、および寿命 (η および μ)⁷⁾ を求めた。バラツキ (m) は各直線の傾き (X/Y) として得られる。特性疲労寿命 (η) は残存率が標本の $1/e$ となる時、すなわち全試料の63%が破壊するまでの曲げ回数として求められる。同時に平均寿命 (μ) も求める。特性寿命と平均寿命の関係は次式のとおき表わされる。

$$\ln \mu = \ln \eta + \ln \tau \left(1 + \frac{1}{m} \right)$$

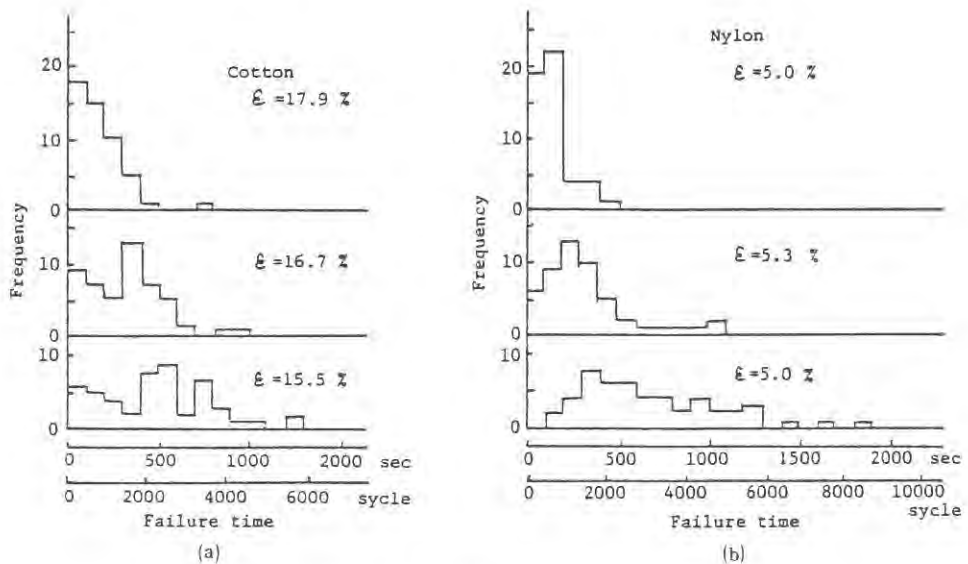


図4 縫糸切断時間（屈曲回数）のヒストグラム（綿糸、ナイロン糸の例）

$\tau(1 + \frac{1}{m})$ はweibull確率紙のC尺から得られる。

このようにして求めたパラツキ (m) および疲労寿命 (η および μ) を表2に示す。

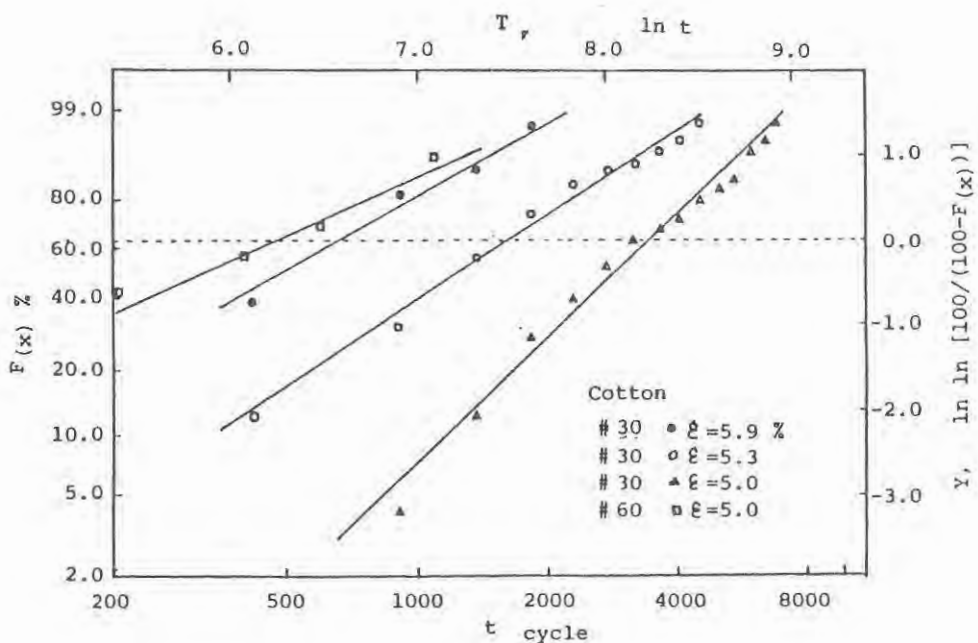
いずれの糸も、与えられる歪（最大伸長率 (ϵ)）が小であるほど、疲労寿命 (η , μ) は大になるが、そのパラツキ (m) も増加する。

糸の太さの影響について、綿糸では番手が2倍になると寿命は約1/2に減少している。

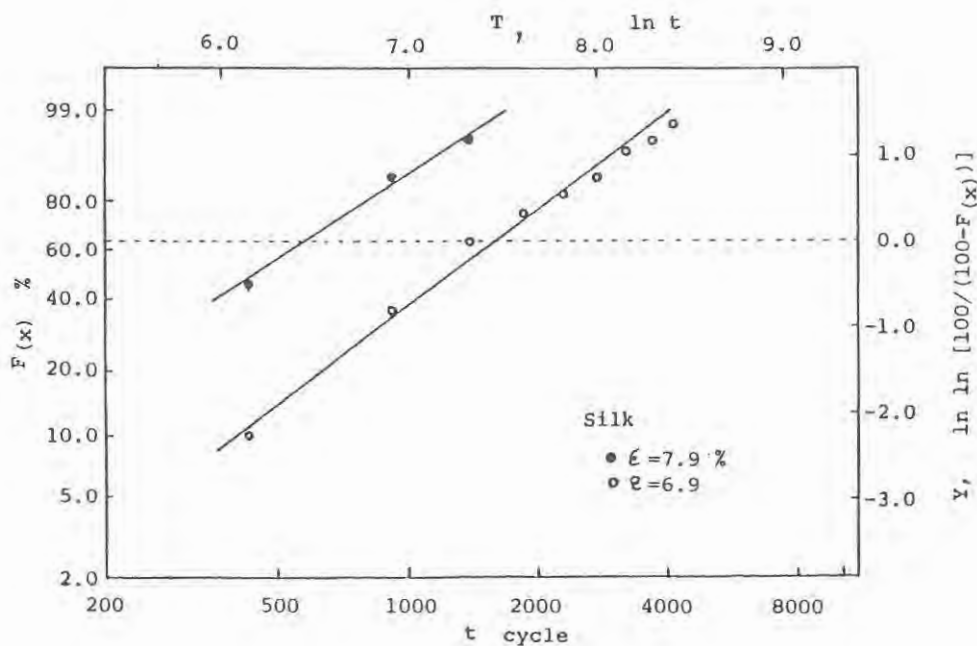
また、ナイロン糸は、5種の試料のうちで最も細く、しかも最大の歪（伸長）を受けているにもかかわらず、寿命が最長であった。その耐疲労性の大きいことが認められた。

表2 各種縫糸の特性寿命、平均寿命および分布のパラツキ

Sample	Maximum elongation (ϵ) %	Shape parameter (m)	Characteristic life (η) cycle	Mean life (μ) cycle
Cotton #30	5.9	1.21	660	625
	5.3	1.42	1630	1500
	5.0	2.07	3450	3090
Cotton #60	5.0	0.98	480	455
	7.9	1.42	580	527
Silk #50	6.9	1.70	1600	1420
	11.0	1.17	1100	1050
Polyester #50	10.0	1.36	2140	1970
	9.0	1.60	2650	2350
Nylon #60	17.9	1.42	1690	1530
	16.7	1.91	3500	3100
	15.5	2.22	5200	4580



(a)



(b)

図5-1 綿糸と絹糸の疲労寿命

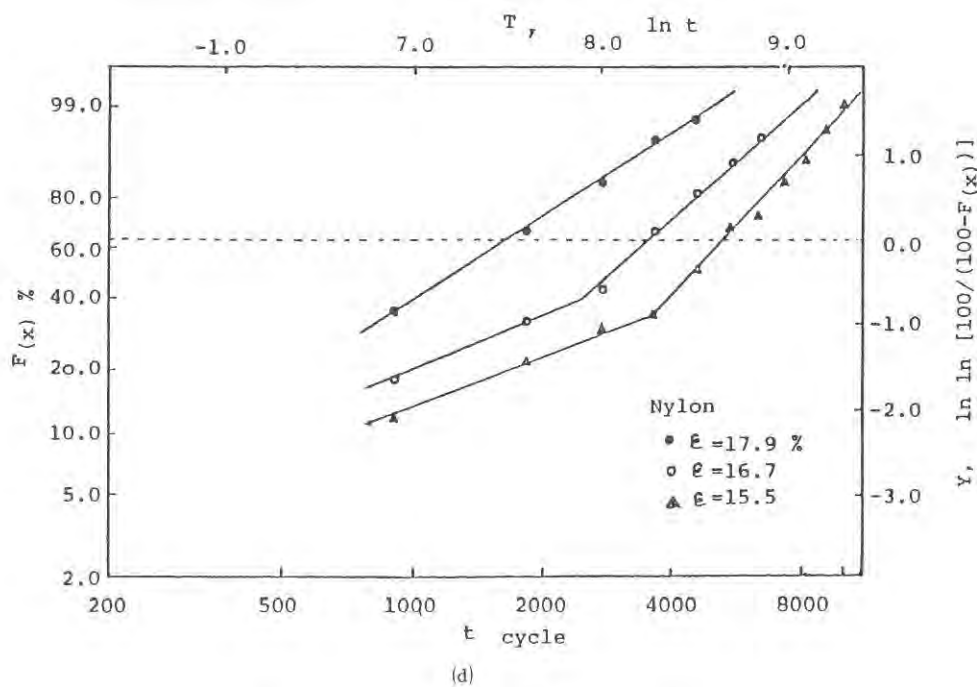
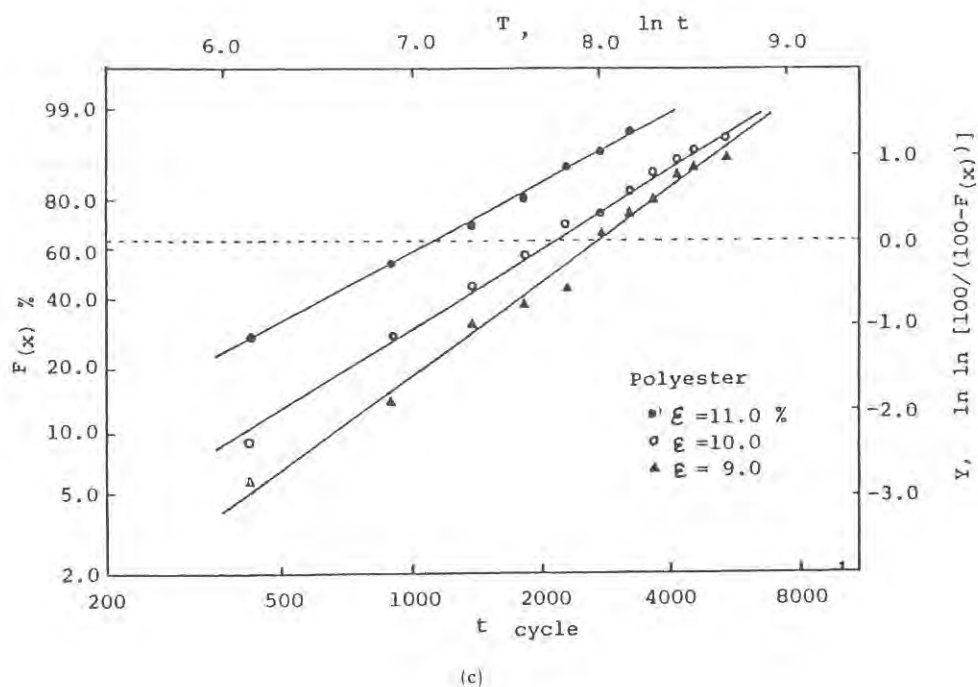


図5-2 ポリエステル糸とナイロン糸の疲労寿命

ま と め

くり返し引張り曲げ複合応力を受ける縫糸の疲労に関する実験、検討を行なった。

応力を受けた場合の最大歪（最大伸長率）を3段階に変化させ、各条件について50本の試料糸の切断までの曲げ回数を測定した。これら疲労破壊した試料のヒストグラムは、wiebull分布に適合することが認められた。そこで各試料の疲労に関する特性値として、wiebullの確率論にもとづく特定疲労寿命（ η 、試料総数の63%が切断する曲げ回数または時間）、平均寿命（ μ ）、および分布のバラツキ（ m ）を求めた。

その結果、いずれも試料も、応力付加時の最大歪が減少するにつれ、疲労寿命（ η 、 μ ）、バラツキ（ m ）ともに大になることが確かめられた。また、引張り曲げ複合応力に対してナイロン縫糸の疲労抵抗が大であることを認めた。

文 献

- 1) Weibull, W.: *Fatigue Testing and Analysis of Results*, Pergamon Press. P. 82~93, P.184~229 (1961)
- 2) 日本材料学会疲労部門委員会（委員長川田雄一）：金属の疲労，丸善，P. 80~87 (1964)
- 3) Frank, F., Singleton, R. W.: *Text. Res. J.*, **34**, 11 (1964)
- 4) Chauhan, R. S., Shah, N. M., Dweltz, N. E.: *J. Text. Inst.*, **71**, 18 (1980)
- 5) Clark, I. E., Hearle, W. S.: *J. Text. Inst.*, **74**, 168 (1983)
- 6) 真壁肇：ワイブル確率紙の使い方，日本規格協会，P. 57~58 (1969)
- 7) 日科技連編：信頼性データの解析 日科技連，P. 38~44 (1970)

Summary

This paper describes an experiment on fatigue of sewing thread subjected to tensile and bending stress.

Breaking time or cycle of samples exposed to complex stress is measured.

A Weibull distribution is applied to analysis of the experimental data on fatigue. The Weibull distribution has the form

$$1-F_{(x)} = e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{t_0}}$$

where t is time to failure, $F_{(x)}$ is the fraction of population failing in time less than t , t_0 (or η) is the scale parameter, m is the shape parameter, and γ is the location parameter (the minimum expected lifetime).

The evidence suggests that a Weibull distribution is appropriate to the experimental data on the fatigue of sewing thread. On each sample, characteristic life (η) and dispersion (m) increase, as maximum elongation of the thread decreases.